

UDC

中华人民共和国行业标准



P

JGJ 135 – 2007

载体桩设计规程

Specification for design of ram-compacted piles
with bearing base

2007 – 06 – 04 发布

2007 – 10 – 01 实施

中 华 人 民 共 和 国 建 设 部 发 布

中华人民共和国行业标准

载体桩设计规程

Specification for design of ram-compacted piles
with bearing base

JGJ 135 - 2007

J 121 - 2007

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2007年10月1日

中国建筑工业出版社

2007 北 京

中华人民共和国建设部 公 告

第 649 号

建设部关于发布行业标准 《载体桩设计规程》的公告

现批准《载体桩设计规程》为行业标准，编号为 JGJ 135 - 2007，自 2007 年 10 月 1 日起实施。其中，第 4.5.1、4.5.4 条为强制性条文，必须严格执行。原行业标准《复合载体夯扩桩设计规程》JGJ/T 135 - 2001 同时废止。

本规程由建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国建设部
2007 年 6 月 4 日

前 言

根据建设部建标 [2004] 66 号文件要求, 编制组在广泛调查研究, 认真总结近年来的实践经验, 并在广泛征求意见的基础上全面修订了本规程。

本规程的主要技术内容: 载体桩基的计算, 承台设计和载体桩基工程质量检查与检测。

本规程的主要修订内容: 1. 增加了载体桩桩顶作用效应的计算; 2. 对用于初步设计时载体桩承载力特征值估算的参数 A_s 进行了修订; 3. 增加了当载体桩持力层下存在软弱下卧层时, 软弱下卧层承载力的验算; 4. 对原规程中沉降计算公式进行了修订。

本规程由建设部负责管理和对强制性条文的解释, 由主编单位负责具体技术内容的解释。

本规程主编单位: 北京波森特岩土工程有限公司 (地址: 北京市昌平区东小口镇太平家园 31 号楼; 邮政编码: 102218; puissant@126.com)

本 规 程 参 编 单 位: 中国建筑科学研究院

清华大学

天津大学建筑设计研究院

天津中怡建筑设计有限公司

北京建筑工程研究院

哈尔滨波森特建筑安装工程有限公司

陕西波森特岩土工程有限公司

本规程主要起草人员: 王继忠 杨启安 李广信 闫明礼

凌光容 方继圣 沈保汉 杨立杰

麻水歧 孙玉文 戚银生 葛宝亮

季 强 杨浩军 蔺忠彦 马治国

目 次

1 总则	1
2 术语、符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	2
3 基本规定	5
4 载体桩计算	7
4.1 一般规定	7
4.2 载体桩桩顶作用效应计算	8
4.3 单桩竖向承载力	9
4.4 单桩水平承载力	13
4.5 载体桩基沉降计算	13
5 承台（梁）设计	16
6 载体桩基工程质量检查与检测	17
6.1 一般规定	17
6.2 成桩质量检查	17
6.3 单桩桩身完整性及承载力检测	17
附录 A 载体桩竖向静载荷试验	19
本规程用词说明	21
附：条文说明	23

1 总 则

1.0.1 为了使载体桩的设计做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于工业与民用建筑和构筑物的载体桩设计。

1.0.3 载体桩设计应因地制宜，综合考虑地质条件、环境条件、建筑物结构类型、荷载特征及施工设备等因素。

1.0.4 载体桩设计，除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 填充料 filling material

为挤密桩端地基土体而填入的材料,包括碎砖、碎混凝土块、水泥拌合物、碎石、卵石及矿渣等。

2.1.2 挤密土体 soil in compacted zone

夯实填充料时周围被挤密的地基土体。

2.1.3 载体 bearing base

由混凝土、夯实填充料、挤密土体三部分构成的承载体。

2.1.4 载体桩 ram-compacted piles with bearing base

由混凝土桩身和载体构成的桩。

2.1.5 载体桩桩长 length of the ram-compacted piles with bearing base

载体桩的桩长,包括混凝土桩身长度和载体高度。

2.1.6 被加固土层 strengthened soil stratum

载体所在的土层。

2.1.7 载体桩的持力层 bearing stratum for ram-compacted piles with composite bearing base

直接承受载体桩传递的荷载的土层。

2.1.8 三击贯入度 the total penetration of three drives

指填充料夯实完毕后,以锤径为 355mm,质量为 3500kg 的柱锤,落距为 6.0m,连续三次锤击的累计下沉量。

2.2 符 号

A_c ——载体等效计算面积;

A_p ——桩身截面面积;

- d ——混凝土桩身直径；
 e ——土的孔隙比；
 E_{si} ——桩基沉降计算范围内第 i 层土的压缩模量；
 f_a ——经深度修正后的载体桩持力层地基承载力特征值；
 f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值；
 F_k ——相应于承载力极限状态时，荷载效应标准组合下上部结构传到承台顶面的竖向力；
 F ——相应于正常使用极限状态时，荷载效应准永久组合下作用于承台顶面的竖向力；
 F' ——相应于正常使用极限状态时，荷载效应准永久组合下上部结构传递到承台梁上单位长度的竖向力；
 G_k ——承台和承台上土自重标准值；
 H_{ik} ——相应于承载力极限状态时，荷载效应标准组合下作用于任一根载体桩桩顶的水平力；
 I_L ——土的液性指数；
 l ——混凝土桩身长度；
 l_i ——混凝土桩身长度范围内第 i 层土的土层厚度；
 N ——相应于承载力极限状态时，荷载效应基本组合下作用于载体桩单桩上竖向力设计值；
 N_k ——相应于承载力极限状态时，荷载效应标准组合下作用于任一根载体桩桩顶的竖向力；
 N_{Ek} ——在地震作用效应和荷载效应标准组合下，每一根载体桩的竖向承载力；
 Q_u ——载体桩单桩竖向极限承载力；
 p_0 ——相应于荷载效应准永久组合时压缩层顶部的附加压力；
 R_a ——单桩竖向承载力特征值；
 s ——桩基最终沉降量；
 $\bar{\alpha}_i$ ——载体桩基础底面（或沉降计算面）计算点至第 i 层土

底面深度范围内平均附加应力系数；

σ_c ——地基土自重应力；

σ_z ——地基土某点的附加应力。

3 基本规定

3.0.1 对无相近地质条件下成桩试验资料的载体桩设计，应事先进行成孔、成桩试验和载荷试验确定设计及施工参数。

3.0.2 被加固土层宜为粉土、砂土、碎石土及可塑、硬塑状态的黏性土。当软塑状态的黏性土、素填土、杂填土和湿陷性黄土经过成桩试验和载荷试验确定载体桩的承载力满足要求时，也可作为被加固土层。在湿陷性黄土地区采用载体桩时，载体桩必须穿透湿陷性黄土层。

3.0.3 载体桩桩间距不宜小于 3 倍桩径，且载体施工时不得影响到相邻桩的施工质量。当被加固土层为粉土、砂土或碎石土时，桩间距不宜小于 1.6m；当被加固土层为含水量较高的黏性土时，桩间距不宜小于 2.0m。

3.0.4 桩身长度应由所选择的被加固土层和持力层的埋深及承台底标高确定。

3.0.5 桩身构造应符合下列规定：

1 桩身混凝土强度等级，灌注桩不得低于 C25，预制桩不得低于 C30；

2 主筋混凝土保护层厚度不应小于 35mm；

3 载体桩桩身正截面配筋率可取 0.20%~0.65%（小直径桩取大值，大直径桩取小值），对抗压和抗拔桩主筋不应少于 6 ϕ 10，对受水平力的桩主筋不应少于 8 ϕ 12；箍筋可采用直径不小于 ϕ 6、间距不大于 300mm 的螺旋箍筋，在桩顶 3~5 倍桩身直径范围内箍筋应适当加密，钢筋笼应沿混凝土桩身通长配筋；当钢筋笼的长度超过 4m 时，应每隔 2m 设一道直径不小于 12mm 的焊接加劲箍筋；

4 抗压桩纵筋伸入承台的锚固长度不得小于 30 倍主筋直

径；抗拔桩桩顶纵向主筋的锚固长度应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定。

3.0.6 载体施工时的填料量应以三击贯入度控制。对于桩径为 300~500mm 的载体桩，其填料量不宜大于 1.8m^3 ；当填料量大于 1.8m^3 时，应另选被加固土层或改变施工参数。

3.0.7 当桩身进入承压水土层时，应采取有效措施，防止发生突涌。

3.0.8 在桩基础施工时，应采取相应措施控制相邻桩的上浮量。对于桩身混凝土已达到终凝的相邻桩，其上浮量不宜大于 20mm；对于桩身混凝土处于流动状态的相邻桩，其上浮量不宜大于 50mm。

3.0.9 当采用载体桩作为复合地基中的增强体时，载体桩桩身可不配筋。

4 载体桩计算

4.1 一般规定

4.1.1 验算竖向力作用下载体桩竖向承载力时,应符合下列规定:

1 荷载效应标准组合

轴心竖向力作用下

$$N_k \leq R_a \quad (4.1.1-1)$$

偏心竖向力作用下,除应满足式(4.1.1-1)外,尚应满足下式要求:

$$N_{kmax} \leq 1.2R_a \quad (4.1.1-2)$$

式中 N_k ——相应于荷载效应标准组合时,作用于任一根载体桩桩顶的竖向力(kN);

N_{kmax} ——相应于荷载效应标准组合时,偏心竖向力作用于承台顶时载体桩桩顶所受的最大竖向力(kN);

R_a ——单桩竖向承载力特征值(kN)。

2 地震作用效应组合

轴心竖向力作用下

$$N_{Ek} \leq 1.25R_a \quad (4.1.1-3)$$

偏心竖向力作用下,除应满足上式外,尚应满足下式要求:

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R_a \quad (4.1.1-4)$$

式中 N_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下,每一根载体桩的竖向力(kN);

N_{Ekmax} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下,载体桩上的最大竖向力(kN)。

4.1.2 承受竖向荷载为主的低承台桩基,当地面下无液化土层且桩承台周围无淤泥、淤泥质土或地基土承载力特征值不小于

100kPa 的填土时, 下列建筑可不进行桩基抗震承载力验算:

- 1) 砌体房屋;
- 2) 抗震设防烈度为 7 度和 8 度时, 一般单层厂房、单层空旷房屋、不超过 8 层且高度在 25m 以内的一般民用框架房屋及与其基础荷载相当的多层框架厂房;
- 3) 现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定可不进行上部结构抗震验算的建筑物。

4.1.3 水平力作用下, 基桩水平承载力应符合下式要求:

$$H_{ik} \leq R_h \quad (4.1.3)$$

式中 H_{ik} ——相应于荷载效应标准组合时, 作用于任一根载体桩桩顶的水平力 (kN);

R_h ——单桩水平承载力特征值 (kN)。

4.2 载体桩桩顶作用效应计算

4.2.1 对于一般建筑物和受水平力较小的高大建筑物, 桩径和桩长相同的载体桩群桩基础, 应按下列公式计算群桩中载体桩的桩顶作用效应:

1 竖向力

承台上轴心竖向力作用下

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (4.2.1-1)$$

偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{yk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{xk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (4.2.1-2)$$

式中 N_{ik} ——相应于荷载效应标准组合时, 偏心竖向力作用于承台顶时第 i 根载体桩桩顶所受的竖向力 (kN);

F_k ——相应于荷载效应标准组合时, 上部结构传到承台顶面的竖向力 (kN);

G_k ——载体桩的承台和承台上土自重标准值, 对于地下水以下部分应扣除水的浮力 (kN);

$M_{xk}、M_{yk}$ ——相应于荷载效应标准组合时, 对承台底面通过载体桩群桩形心的 $x、y$ 轴的力矩 (kN·m);

$x_i、x_j、y_i、y_j$ ——第 $i、j$ 根载体桩至 $y、x$ 轴的距离 (m)。

2 水平力作用下

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (4.2.1-3)$$

式中 H_k ——相应于荷载效应标准组合时, 作用于承台底面的水平力 (kN);

n ——桩基中载体桩的数量。

4.3 单桩竖向承载力

4.3.1 为设计提供依据时, 单桩竖向承载力特征值应通过竖向静载荷试验确定。在同一条件下, 试桩数量不应少于 3 根, 试验应按本规程附录 A 进行。

单桩竖向承载力特征值应按下式计算:

$$R_s = Q_u / K \quad (4.3.1)$$

式中 Q_u ——载体桩单桩竖向极限承载力 (kN);

K ——安全系数, 取 $K=2$ 。

4.3.2 初步设计时, 单桩竖向承载力特征值可采用下列经验公式估算:

$$R_s = f_s \cdot A_e \quad (4.3.2)$$

式中 f_s ——经深度修正后的载体桩持力层地基承载力特征值 (kPa), 应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行;

A_e ——载体等效计算面积 (m^2), 在没有当地经验值时其值可按表 4.3.2 选用。

表 4.3.2 载体等效计算面积 A_e (m^2)

被加固土层土性		三击贯入度 (cm)				
		<10	10	20	30	>30
黏性土	$0.75 < I_L \leq 1.0$	—	2.0~2.3	1.6~1.9	1.4~1.7	<1.8
	$0.25 < I_L \leq 0.75$	—	2.3~2.6	1.9~2.2	1.7~2.0	<2.1
	$0.0 < I_L \leq 0.25$	2.7~3.2	2.6~2.9	2.2~2.6	2.0~2.3	<2.2
粉土	$e > 0.8$	2.4~2.7	2.2~2.5	1.9~2.2	1.6~1.9	<1.7
	$0.7 < e \leq 0.8$	2.7~3.0	2.5~2.8	2.2~2.5	1.9~2.2	<2.0
	$e \leq 0.7$	3.0~3.4	2.8~3.1	2.5~2.8	2.2~2.5	<2.3
粉砂 细砂	中密	2.7~3.1	2.4~2.8	2.1~2.5	1.8~2.2	<1.9
	稍密	3.1~3.5	2.8~3.2	2.5~2.9	2.2~2.6	<2.2
中砂 粗砂	中密	2.9~3.4	2.7~3.1	2.4~2.8	1.9~2.4	—
	稍密	3.4~3.8	3.1~3.5	2.8~3.2	2.4~2.8	—
碎石土	中密	3.2~3.8	2.9~3.4	2.6~3.0	—	—
	稍密	3.8~4.5	3.4~3.8	3.0~3.4	—	—
杂填土		2.4~2.9	2.1~2.5	1.8~2.2	1.5~1.9	<1.6

注：当桩长超过 10m 时，应计入桩侧阻的影响。

4.3.3 桩身混凝土强度应满足承载力要求，桩身强度应按下式验算：

$$N \leq \psi_c f_c A_p \quad (4.3.3)$$

式中 N ——相应于荷载效应基本组合时，作用于载体桩单桩上竖向力设计值 (kPa)；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值 (kPa)，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定；

A_p ——桩身截面面积 (m^2)；

ψ_c ——成桩工艺系数，桩身为预制桩时取 0.8，现场灌注时取 0.75。

4.3.4 载体桩基础持力层下受力范围内存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层承载力验算。

4.3.5 软弱下卧层承载力应按下式验算：

$$\sigma_{pz} + \gamma_i z \leq f_{sz} \quad (4.3.5-1)$$

$$\sigma_{pz} = \frac{F_k + G_k - \gamma A d_h - 2(L_0 + B_0) \sum q_{sik} l_i}{(L_0 + 2\Delta R + 2t \cdot \tan\theta)(B_0 + 2\Delta R + 2t \cdot \tan\theta)} \quad (4.3.5-2)$$

式中 σ_{pz} ——相应于荷载效应标准组合时作用于软弱下卧层顶面的附加应力 (kPa)；

γ ——承台底以上土的加权平均重度 (kN/m³)；

z ——地面至软弱下卧层顶面的距离 (m)；

d_h ——承台埋深 (m)；

A ——承台面积 (m²)；

γ_i ——软弱层顶面以上各土层（地下水位以下取浮重度）的加权平均重度 (kN/m³)；

q_{sik} ——第 i 层土极限侧阻力标准值，根据经验确定或按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定 (kPa)；

l_i ——混凝土桩身长度范围内第 i 层土的土层厚度 (m)；

t ——载体底面计算位置至软弱层顶面的距离 (m)；

f_{sz} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值 (kN/m²)，深度修正系数 η_d 取 1.0；

L_0 、 B_0 ——承台下最外侧桩桩身沿竖向投影形成矩形的长边和短边的边长 (m)，见图 4.3.5；

ΔR ——等效计算距离 (m)，可取 0.6~1.0m，当 A_c 值较小时，取小值； A_c 值较大时，取大值；

θ ——压力扩散角 (°)，可按表 4.3.5 取值。

表 4.3.5 地基压力扩散角

E_{s1} / E_{s2}	压力扩散角	
	$t=0.25B_k$	$t \geq 0.50B_k$
3	6°	23°
5	10°	25°
10	20°	30°

注：1 $B_k = B_0 + 2\Delta R$;

2 E_{s1} 为上层地基土压缩模量； E_{s2} 为软弱下卧层地基土压缩模量；

3 $t < 0.25B_k$ 扩散角取 0°； $t > 0.5B_k$ 扩散角取 $0.5B_k$ 对应的扩散角；

4 当 $E_{s1} / E_{s2} < 3$ 时，按均质土层考虑应力分布，不考虑压力扩散角。

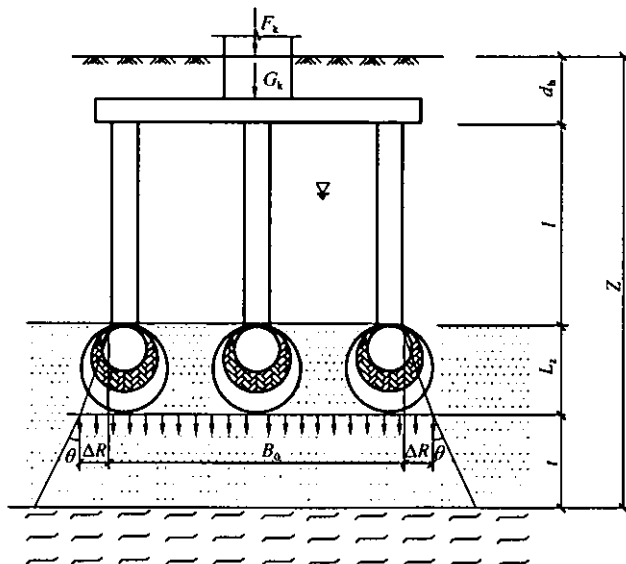


图 4.3.5 软弱下卧层计算示意

l ——混凝土桩身长度； L_z ——载体高度，

由当地经验确定，无经验时可取 2m

4.4 单桩水平承载力

4.4.1 对于受水平荷载较大、建筑桩基设计等级为甲级的建筑物的载体桩基，载体桩的水平承载力特征值应通过单桩载荷试验来确定，检测数量为总桩数的1%，且不应少于3根。

4.4.2 当桩身配筋率小于0.65%时，可取单桩水平静载荷试验的临界荷载为单桩水平承载力特征值；当配筋率不小于0.65%时，可按静载荷试验结果取基底标高处桩顶水平位移为10mm所对应的荷载为单桩水平承载力特征值。

4.4.3 当缺少单桩水平静载荷试验资料时，载体桩水平承载力估算可按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

4.5 载体桩基沉降计算

4.5.1 对于下列建筑物的载体桩基应进行沉降计算：

- 1 建筑桩基设计等级为甲级的载体桩基；
- 2 体形复杂、荷载不均匀或桩端以下存在软弱下卧层的设计等级为乙级的载体桩基；
- 3 地基条件复杂、对沉降要求严格的载体桩基。

4.5.2 载体桩基变形特征可分为沉降量、沉降差、倾斜和局部倾斜。

4.5.3 由于土层厚度与性质不均匀、荷载差异、体形复杂等因素引起的桩基变形，对于砌体承重结构应由局部倾斜控制；对于框架结构和单层排架结构应由相邻柱基的沉降差控制；对于多层或高层建筑和高耸结构应由倾斜值控制；必要时尚应控制平均沉降量。

4.5.4 建筑物载体桩基沉降变形计算值不应大于建筑物桩基沉降变形允许值。

4.5.5 建筑物桩基沉降变形允许值应按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定执行。

4.5.6 载体桩基沉降计算宜按等代实体基础采用单向压缩分层

总和法进行计算, 沉降计算位置从混凝土桩身下 2m 开始计算, 等代实体面积为载体外边缘投影面积, 边长可近似取承台下外围桩投影形成矩形的边长加 2 倍的 ΔR , 附加压力可近似取混凝土桩身下 2m 处的附加压力。

4.5.7 桩基沉降应按下列公式计算 (图 4.5.7):

$$s = \psi_p p_0 \sum_{i=1}^n \frac{z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}}{E_{si}} \quad (4.5.7-1)$$

对于独立承台基础:

$$p_0 = \frac{F + G_k - \gamma d_h A - 2(L_0 + B_0) \sum q_{sia} l_i}{(L_0 + 2\Delta R)(B_0 + 2\Delta R)} \quad (4.5.7-2)$$

对于墙下布桩条形承台梁基础:

$$p_0 = \frac{F' + G'_k - \gamma d_h B_0 - 2 \sum q_{sia} l_i}{B_0 + 2\Delta R} \quad (4.5.7-3)$$

式中 s ——桩基最终沉降量 (m);

ψ_p ——沉降计算经验系数, 根据地区沉降观测资料及经验确定; 当没有相关经验系数时, 可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行;

p_0 ——对应荷载效应准永久组合时压缩土层顶部的附加压力 (kPa);

n ——桩基沉降计算范围内所划分的土层数;

z_i 、 z_{i-1} ——载体桩基沉降计算面至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面的距离 (m);

$\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ ——载体桩基础底面 (或沉降计算面) 计算点至第 i 层、第 $i-1$ 层土底面深度范围内平均附加应力系数, 可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定执行;

E_{si} ——桩基沉降计算范围内第 i 层土的压缩模量, 取土的自重压力至土的自重压力与附加压力之和的压力段计算 (MPa);

q_{sia} ——桩侧阻力特征值;

A ——承台面积 (m^2);

- d_h ——承台埋深 (m);
- F ——相应于正常使用极限状态时, 荷载效应准永久组合下作用于承台顶面的竖向力 (kN);
- F' ——相应于正常使用极限状态时, 荷载效应准永久组合下上部结构传递到承台梁上单位长度的竖向力 (kN/m);
- G'_k ——承台和承台上土的单位长度上自重标准值 (kN/m)。

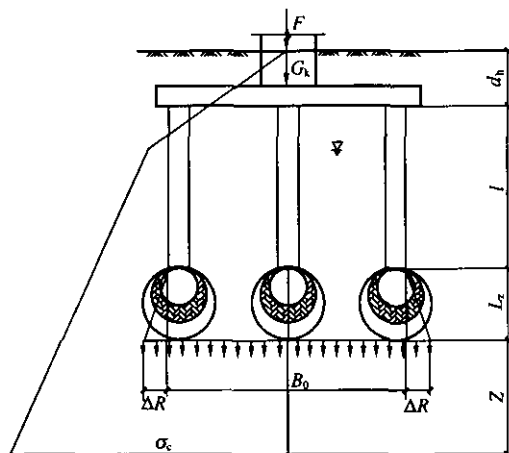


图 4.5.7 沉降计算示意

4.5.8 载体桩基沉降计算深度 (z_n) 处的附加应力与土自重应力 σ_c 应符合下式要求:

$$\sigma_z = 0.2\sigma_c \quad (4.5.8)$$

式中 σ_z —— z_n 深度的附加应力 (kPa)。

5 承台（梁）设计

5.1 承台的抗弯、抗剪、抗冲切验算方法应按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

5.2 承台（梁）的构造应按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

6 载体桩基工程质量检查与检测

6.1 一般规定

6.1.1 对无相近地质条件下成桩试验资料的工程，必须进行试桩，试桩设计方案由载体桩设计人员提供。试桩与工程桩必须进行成桩质量的检查和桩身完整性及承载力的检测。

6.2 成桩质量检查

6.2.1 施工单位应提供施工过程中与桩身质量有关的资料，包括原材料的力学性能检验报告，试件留置数量及制作养护方法、混凝土抗压强度试验报告、钢筋笼制作质量检查报告。

6.2.2 对载体应检查下列项目：

- 1 填料量；
- 2 夯填混凝土量；
- 3 每击贯入度；
- 4 三击贯入度。

6.3 单桩桩身完整性及承载力检测

6.3.1 桩身完整性检测，可采用低应变动测法检测。试验桩必须全部检测。工程桩检测数量不应少于总桩数的 10%，且不应少于 10 根，条件允许可适当增加；承台下为 3 根桩或少于 3 根时，每个承台下抽检数量不得少于 1 根。

6.3.2 竖向承载力检测的方法应采用静载荷试验，为设计提供设计参数的静载荷试验应采用慢速维持荷载法，在有成熟检测经验的地区的工程桩检测可采用快速维持荷载法。为设计提供设计参数的试桩检测数量根据试桩方案确定；单位工程的工程桩检测数量不应少于同条件下总桩数的 1%，且不应少于 3 根，当总桩

数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。

6.3.3 在桩身混凝土强度达到设计要求的前提下，从成桩到开始检测的间歇时间，对于砂类土不应小于 10d；对于粉土和黏性土不应小于 15d；对于淤泥或淤泥质土不应小于 25d。

附录 A 载体桩竖向静载荷试验

A.0.1 载体桩竖向静载荷试验宜采用慢速维持荷载法，当作为工程桩验收时也可采用快速维持荷载法进行试验（即每隔 1h 加一级荷载）。

A.0.2 加载反力装置可采用堆载或锚桩，也可采用堆载和锚桩相结合。

A.0.3 试桩、锚桩（压重平台支座）和基准桩之间的中心距离应符合表 A.0.3 的规定。

表 A.0.3 试桩、锚桩和基准桩之间的中心距离

反力系统	试桩与锚桩 (或压重平台 支座墩边)	试桩与基准桩	基准桩与锚桩 (或压重平台支 座墩边)
锚桩横梁反力装置 压重平台反力装置	$\geq 4d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4d$ 且 $> 2.0\text{m}$

注：d 为桩身直径。

A.0.4 加荷分级不应少于 8 级，每级加荷量宜为预估极限荷载的 $1/8 \sim 1/10$ 。

A.0.5 慢速维持荷载法测读桩沉降量的间隔时间：每级加载后，每第 5、10、15min 时应各测读一次，以后每隔 15min 读一次，累计 1h 后可每隔 0.5h 读一次。

A.0.6 稳定标准：在每级荷载作用下，桩的沉降量应稳定，即连续两次在每小时内的沉降量应小于 0.1mm。

A.0.7 出现下列情况之一时可终止加载：

1 某级荷载作用下，桩的沉降量为前一级荷载作用下沉降量的 5 倍且总沉降大于 60mm；

2 某级荷载作用下, 桩的沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍, 且经 24h 尚未达到相对稳定;

3 达到设计要求的最大加载量;

4 当采用锚桩法时, 锚桩的上拔量已达到允许值;

5 曲线呈缓变型, 桩顶沉降累计达到 60mm。

A. 0. 8 卸载观测时每级卸载值应为加载值的 2 倍。卸载后应隔 15min 测读一次, 读两次后, 隔 0. 5h 再读一次, 即可卸下一级荷载。全部卸载后, 隔 3~4h 再测读一次。

A. 0. 9 单根载体桩竖向极限承载力的确定应符合下列规定:

1 根据沉降随荷载变化的特征确定: 当陡降段明显时, 取相应于陡降段起点的荷载值;

2 根据沉降随时间变化的特征确定: 取 $s\text{-}lgt$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值;

3 当出现本规程 A. 0. 7 第 2 款的情况, 取前一级荷载值;

4 $Q\text{-}s$ 曲线呈缓变型时, 取桩顶总沉降量为 60mm 所对应的荷载值。

A. 0. 10 参加统计的试桩, 当满足其极差不超过平均值的 30% 时, 可取其平均值为单桩竖向极限承载力。极差超过平均值的 30% 时, 可增加试桩数量, 分析极差过大的原因, 结合工程具体情况确定极限承载力。对桩数为 3 根及 3 根以下的桩基, 应取最小值作为单桩极限承载力。

将单桩竖向极限承载力除以安全系数 2, 可作为单桩竖向承载力特征值 R_a 。

本规程用词说明

- 1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”；
反面词采用“严禁”。
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”；
反面词采用“不应”或“不得”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”；
反面词采用“不宜”。
表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应按……执行”或“应符合……规定（或要求）”。

中华人民共和国行业标准

载体桩设计规程

JGJ 135 - 2007

条文说明

目 次

1	总则	25
2	术语、符号	26
2.1	术语	26
3	基本规定	28
4	载体桩计算	32
4.1	一般规定	32
4.2	载体桩桩顶作用效应计算	32
4.3	单桩竖向承载力	32
4.4	单桩水平承载力	38
4.5	载体桩基沉降计算	38
6	载体桩基工程质量检查与检测	40
6.2	成桩质量检查	40
6.3	单桩桩身完整性及承载力检测	40

1 总 则

1.0.1 原复合载体夯扩桩简称复合载体桩，现称载体桩。设计载体桩时首先应从建筑安全考虑，确定方案是否可行，然后再根据建筑物的安全等级、建筑场地情况、结构形式和结构荷载，确定桩长、桩径等设计参数；并考虑施工工艺对环境的影响，确定最优设计方案。

1.0.3 载体桩成孔一般采用柱锤夯击、护筒跟进成孔，再对桩端土体进行填料和夯击，必然对桩端周围土体产生一定的挤土效应，故施工时必须根据建筑物所处的地质条件和周围的环境条件，综合考虑施工方法。地质条件是指被加固土层应具有良好的可挤密性、足够的厚度、土层稳定和埋深适宜，不具备这些条件时不宜采用。为减小桩身施工时的挤土效应，可以采用螺旋钻成孔。当拟建场地周围有建筑物时，为减小施工对已建建筑物的影响，可以采用无振感的施工方法进行施工，或者采取适当的减振、隔振措施。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 填充料是为了增强混凝土桩端下土体的挤密效果而填充的材料。碎砖、碎混凝土块、水泥拌合物、碎石、卵石及矿渣等都可以作为填充料，其中水泥拌合物指水泥和粉煤灰与粗骨料按一定比例掺合的混合物。对于某些地质条件较好、挤密效果佳的土层，在施工载体桩时，可以不投填充料而对桩端土体直接夯实。

2.1.2 挤密土体是填充料周围被夯实挤密的土体，距离填充料越远，对挤密土体的影响越小。

2.1.3 载体由三部分组成：混凝土、夯实填充料、挤密土体。从混凝土、夯实填充料到挤密土体，其压缩模量逐渐降低，应力逐渐扩散。根据施工经验以及对桩端周围土体取样分析，载体的影响范围深度约为3~5m、直径约为2~3m，即施工完毕时，桩端下深3~5m，直径2~3m范围的土体都得到了有效挤密，载体的构造见图1。

2.1.4 载体桩指由混凝土桩身和载体构成的桩。施工时采用柱锤夯击，护筒跟进成孔，达到设计标高后，柱锤夯出护筒底一定深度，再分批向孔内投入填充料，用柱锤反复夯实，达到设计要求后再填入混凝土夯实，形成载体，最后再施工混凝土桩身。从受力原理分析，混凝土桩身相当于传力杆，载体相当于无筋扩展基础。根据桩身混凝土的施工方法、施工材料及受力条件等的不同，载体桩有现浇钢筋混凝土桩身载体桩、素混凝土桩身载体桩和预制桩身载体桩。载体桩着重研究载体的受力，其核心为土体密实，承载力主要源于载体。

2.1.5 载体桩桩长包括两部分：混凝土桩身长度和载体高度，

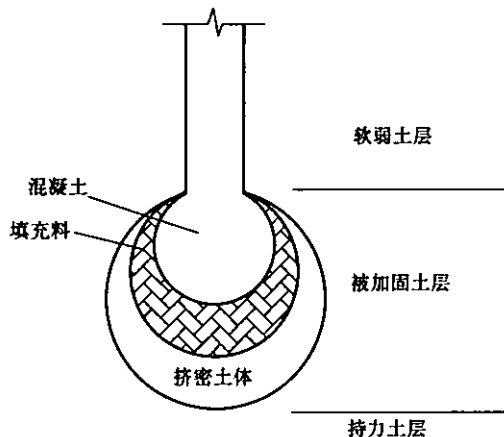


图 1 载体构造示意

其中混凝土桩身长度即从承台底到载体顶的高度，载体的高度因桩端土体土性和三击贯入度的不同而不同，一般深度约为 3~5m。在进行设计时，从安全角度考虑，常常取 2m 作为载体的计算高度。

2.1.6 被加固土层指载体所在的土层，被加固土层的土性直接影响到土体的挤密效果，影响到载体等效计算面积 A_e 。土颗粒粒径越大，土体的挤密效果也就越好， A_e 就越大。为保证土体的挤密效果，必须保证加固土层要有一定的埋深，若埋深太浅，载体周围约束力太小，施工时候容易引起土体的隆起而达不到设计的挤密效果。

2.1.7 载体桩持力层指直接承受载体传递荷载的土层。上部荷载通过桩身传递到载体，并最终传递到持力层。

2.1.8 三击贯入度是采用锤径 355mm，质量为 3500kg 的柱锤，落距为 6.0m，连续三次锤击的累计下沉量。当填料夯实完毕后，正常的贯入度应该为第二次测得的贯入度不大于前一次的贯入度，若发现不符合此规律，应分析查明原因，处理完毕后重新测量。

3 基本规定

3.0.1 与其他桩基础相比，载体桩的承载力主要来源于载体，而载体的受力和等效计算面积与桩端土体的性质密切相关，因此当无类似地质条件下的成桩试验资料时，应在设计或施工前进行成孔、成桩试验以确定沉管深度、封堵措施、填料用量、三击贯入度和混凝土充盈系数等施工参数，并试验其承载力以确定设计参数是否经济合理。

3.0.2 随着近几年的研究，载体桩的应用已经取得了长足的进展。对于软塑状态的黏土、素填土、杂填土和湿陷性黄土，只要经过成桩和载荷试验确定承载力满足设计要求，也可作为被加固土层。黄土作为被加固土层时，经过填料夯击，使桩身下土体的结构发生变化，在载体周围一定范围内湿陷性被消除，设计时保证载体桩桩长穿过湿陷性黄土。表 1 为某工程载体桩载体周围土在施工前后物理力学参数指标的变化。试验桩混凝土桩身长度为 9.0m，桩间距 1.8m，三击贯入度为 12cm，土样从 9.0m 深度处开始取样，每米取一组，取样水平位置位于两试桩中心连线的中点。由试验数据分析可见，混凝土桩身下 4m 范围内，经过载体的施工，黄土的湿陷系数明显降低，湿陷性被消除。

表 1 某工程载体桩施工前后载体周围土的物理力学参数指标变化

土样 编号	取土 深度 (m)	天然密度 (g/cm ³)		孔隙比		压缩模量 (MPa)		湿陷系数	
		原状土	施工后	原状土	施工后	原状土	施工后	原状土	施工后
1	9.0	1.39	1.58	0.94	0.709	5.7	14.2	0.034	0.002
2	10.0	1.46	1.50	0.906	0.807	7.6	15.3	0.019	0.005
3	11.0	1.42	1.45	0.891	0.793	8.8	16.4	0.024	0.012
4	12.0	1.41	1.41	0.915	0.875	7.6	9.3	0.029	0.014
5	13.0	1.38	1.42	0.957	0.901	5.4	6.7	0.023	0.015

3.0.3 设计中应根据地质条件 and 设计荷载, 确定合适的桩间距。合适的桩间距是指既能满足设计要求, 又不至于影响到相邻载体桩受力, 且造价最经济的桩间距。桩间距过小时, 施工载体时产生的侧向挤土压力可能导致邻桩载体偏移; 当桩长较短且土层抗剪强度较低时, 可能导致土体剪切滑裂面的形成, 从而使地面隆起、邻桩桩身上移, 造成断桩或桩身与载体脱离等缺陷。

在某住宅小区采用桩径 410mm, 桩长约 5.0m 的载体桩, 载体被加固土层为黏土层, 经取土和土工试验发现: 在夯实填充料外表面沿水平方向 0~300cm 处土体孔隙比的变化如表 2 所示, 沿水平方向 90cm 范围内, 孔隙比变化明显, 但超过 90cm 后孔隙比变化减小。实测夯实填充料水平轴直径为 105cm, 沿水平方向 90cm 范围内土体的孔隙比都有一定的变化, 则被加固区范围约为 2m。

表 2 土体孔隙比沿与填充料表面水平距离的变化

取 样 点 号	1	2	3	4	5
距填充料外表面 水平距离 (cm)	0	30	60	90	300
孔 隙 比	0.613	0.647	0.704	0.730	0.730

上述试验是在黏土中进行的, 模型箱载体桩试验结果表明, 当被加固土层为砂土时, 其影响范围小于黏性土, 由于抗剪强度较高、剪切滑裂面不易开展和固结快, 最小影响区域直径约为 1.6m。根据工程实践经验和室内试验, 桩径为 300~500mm 的载体桩, 当被加固土层为粉土、砂土或碎石土时, 最小桩距为 1.6m; 当被加固土层为黏性土时, 由于黏性土影响范围大, 最小桩距为 2.0m。当桩径大于 500mm 时, 由于其影响区域大, 其最小桩间距应适当增加, 以成孔试验确定的最小桩间距为准。

3.0.6 每种土的孔隙比不同, 土的内摩擦角不同, 在相同约束和夯击能量下, 土体的挤密效果也不同, 为达到设计要求的三击贯入度所需填料量也不相同。考虑到施工的相互影响, 填料量并

非越多越好，填料过大，容易影响到相邻载体的施工质量。

根据施工经验，对于桩径为 300~500mm 的载体桩，一般载体施工填料都在 900 块砖以内，干硬性混凝土的填量在 0.5m^3 以内时，其体积约为 1.8m^3 ，超过此填料量时容易影响到周围载体桩的承载能力，故本条规定填料体积约 1.8m^3 。当填料超过 1.8m^3 时，必须调整设计方案。对于桩径较大的桩，由于该类型的桩间距也大，其填料量可适当增加，具体填料量根据成桩试验数据确定。

对于压缩模量大，承载力高的碎石类土或粗砂砾砂等土，由于土颗粒间摩擦大，土体的挤密效果好，施工时可以成孔到设计标高后采用柱锤直接夯实，也能得到较好的施工效果。

某小区，场区内地面下 2~12m 范围为杂填土，其下为卵石层，承载力为 350kPa，设计载体桩桩长为 2~12m，桩径为 450mm 和 600mm，施工载体时，沉管到设计标高后直接夯击，三击贯入度满足要求后再填入 0.3m^3 干硬性混凝土、放置钢筋笼和浇筑混凝土。施工完毕经检测承载力全部大于 2000kN，加载到 4000kN 时变形仅为 13mm，取得了良好的效果。

3.0.7 在承压含水层内进行载体施工时，一旦封堵失效会造成施工困难，并且影响施工质量，故应采取有效措施，防止突涌，避免承压水进入护筒。随着施工技术的日趋成熟，施工控制措施也越来越多。由于载体影响深度为 3~5m，在透水层以上一定距离的不透水层内进行填料夯击，可有效地防止承压水进入护筒，同时又能取得良好的效果，此距离可依据承压水压力和土体的抗剪强度确定；当混凝土桩身进入透水层较深时，可在施工过程中向护筒内填料夯实形成砖塞，堵住承压水，边沉管边夯击最终将护筒沉至设计位置；也可以采用在施工现场适当的位置钻孔，消除承压水的水压力，减小承压水的影响等。

某工程东距河流约 20.0m，地下水较为丰富，地下水位约在自然地面下 3.0m，且为承压水。本工程以卵石作为载体桩持力层，其渗透系数较大，若不采取一定的措施，成孔到设计标高

后，容易造成承压水进入护筒，从而影响施工质量。为防止出现这种情况，施工时用锤夯击，将护筒预沉入设计位置上不透水层一定深度后，提出护筒，用彩条布和塑料布将护筒底口扎实，再将护筒缓慢放入到预先沉好的孔中，当护筒底沉到孔底后，立即通过护筒上部所开的投料口投入适量的水泥和砖头，使其在护筒底口形成一定厚度的砖塞，其作用一是隔水；二是通过砖塞与护筒间的摩擦力，在夯锤的夯击能量下，将护筒带至设计深度，边填料边夯实，同时沉护筒。护筒沉至设计深度后，用夯锤将砖塞击出护筒底口，并及时投入填充料夯击，当三击贯入度满足设计要求后，再填入设计方量的干硬性混凝土夯击，按照常规载体桩施工方法进行施工。施工完毕后经检测，单桩承载力都满足设计要求，混凝土质量也都满足要求。

3.0.8 由于载体桩为挤土桩，施工时容易影响到相邻桩的施工质量，造成缩径或桩身与载体间产生裂缝。可以通过控制相邻桩的上浮量来保证桩身的质量。

3.0.9 载体桩可用于复合地基中，当作为复合地基中的增强体，桩身可不配筋。载体桩复合地基的设计可参照国家现行标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 中水泥粉煤灰碎石桩法的有关规定。

4 载体桩计算

4.1 一般规定

载体桩水平承载力和竖向承载力验算应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行。在偏心荷载作用下,承受轴力最大的边桩,验算承载力时其承载力特征值提高 20%。

4.2 载体桩桩顶作用效应计算

承台下单桩竖向力的计算采用正常使用极限状态下标准组合的竖向力。

公式 (4.2.1-1) 和 (4.2.1-2) 成立必须满足三个假定条件: (1) 承台为绝对刚性的,受弯矩作用时呈平面转动,不产生挠曲; (2) 桩与承台为铰接相连,只传递轴力和水平力,不传递弯矩; (3) 各桩刚度相等,当各桩刚度不等时应按实际刚度进行计算。

4.3 单桩竖向承载力

4.3.2 由于载体桩的载荷曲线都比较平缓,由载荷曲线分析,其侧摩阻所占比例比较小,尤其对于桩长小于 10m 的载体桩,其侧摩阻力所占比例更小。为方便计算,在进行载体桩承载力估算时,采用式 (4.3.2) 对载体桩承载力特征值进行设计估算。

2001 年版《复合载体夯扩桩设计规程》编写时,由于当时收集的工程资料有限,对 A_s 的取值偏于保守。通过近几年工程总结,发现实际单桩承载力往往比按设计规程计算出的单桩承载力高,为了更好地发挥载体桩的优势,节约资源,新规程对 A_s 进行了修正。

本次修订共收集到静载荷试验数据 1500 多条,对其中某些

未做到极限状态且变形太小的曲线进行剔除，其他的桩采用逆斜率法推算其极限承载力。通过桩端持力层的承载力，反算出对应不同土层、不同三击贯入度的 A_e ，表 3 为部分载体桩反算出的 A_e 值。对不同被加固土层、不同三击贯入度下的 A_e 值进行回归分析得出本规程表 4.3.2。对部分实际工程的载体桩承载力按表 4.3.2 进行计算，其实测值与计算值之比的频数图见图 2~图 4。

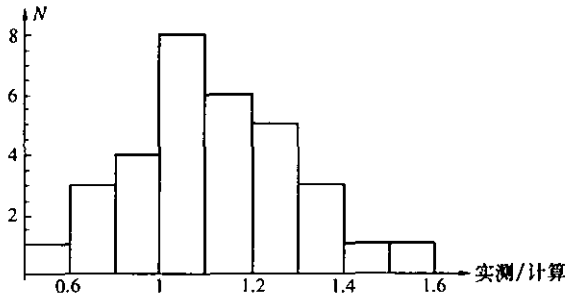


图 2 以密实细砂作为被加固土层的载体桩（32 根）
承载力特征值实测/计算频数分布图

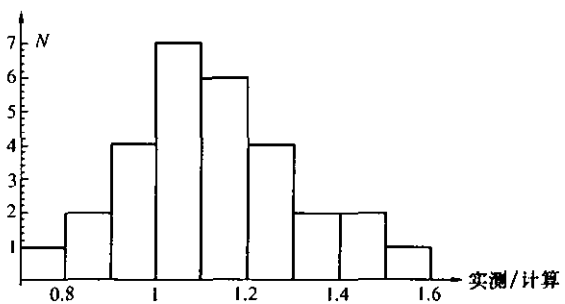


图 3 以卵石作为被加固土层的载体桩（29 根）
承载力特征值实测/计算频数分布图

在使用该表时应注意以下几点：

- 1) 表中三击贯入度是采用锤径为 355mm、质量 3500kg 柱锤、落距为 6.0m 进行测量的，施工中若采用非

标准锤或非标准落距进行测量时，设计时 A_e 可根据当地工程实践经验确定，也可参考表中取值进行适当调整后使用。

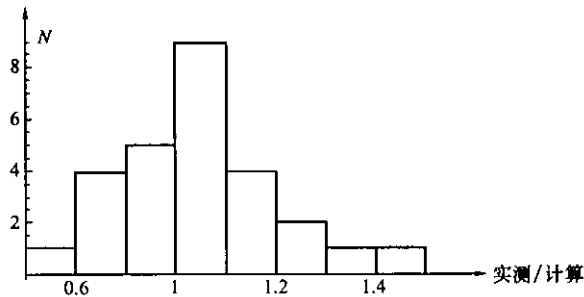


图 4 以粉土作为被加固土层的载体桩 (27 根)
承载力特征值实测/计算频数分布图

表 3 部分载体桩反算的 A_e 统计表

编号	工程名称	桩径 (mm)	桩长 (m)	持力层承载力 (kPa)		持力层土性	三击贯入度 (cm)	单桩承载力 (kN)	A_e (m ²)
				特征值	修正后特征值				
1	北京结核病研究所门诊楼	410	5.5	180	439.2	黏土	14	1274	2.91
2	北京汇佳科教园 1 号楼	410	7.5	120	445	黏土	16	1268	2.85
3	北京汇佳科教园 2 号楼	410	7.2	120	436.8	粉黏	12	1332	3.05
4	北京吉利大学 17 号楼	400	3.0	160	347.2	粉黏	15	760	2.19
5	北京普缘小区 12 号楼	410	7.5	160	461	粉黏	22	1014	2.22
6	天津龙富园小区 2 号楼	410	6.1	130	405	粉黏	16	822	2.03
7	丰彩企业技术有限公司办公楼	420	4.6	220	347	粉黏	8	1083	3.12

续表 3

编号	工程名称	桩径 (mm)	桩长 (m)	持力层承载力 (kPa)		持力层土性	三击贯入度 (cm)	单桩承载力 (kN)	A _c (m ²)
				特征值	修正后特征值				
8	安徽巢湖金和纸业 有限公司厂房	410	5.5	250	520.7	黏土	21	989	1.93
9	北京木材一厂办公楼	410	6	120	216	粉土	20	486	2.25
10	北京南苑住宅小区 2号楼	410	3.5	180	410	粉土	9	1312	3.20
11	西湖苑住宅小区 2号楼	410	3.8	135	390	粉土	21	858	2.20
12	山东魏桥创业集团 电厂	426	5.5	140	387	粉土	8	1316	3.44
13	山东泉林纸业 6号楼漂洗选票车间	400	5.5	160	484	粉土	11	1476	3.05
14	山东泉林纸业 7号楼漂洗选票车间	400	5.6	160	487	粉土	17	1364	2.81
15	河北慧谷科技城科 普教育中心办公楼	410	2.2	150	355	粉土	8	1278	3.63
16	廊坊尖塔银行	420	4.0	100	179	粉土	30	324	1.81
17	天津大学宿舍楼	420	4.0	130	200	粉土	30	398	1.99
18	北京光迅花园-4	410	5.0	140	556	细砂	12	1640	2.95
19	北京光迅花园-4	410	5.0	140	556	细砂	8	1779	3.21
20	北京吉利大学 6号教学楼	450	3.0	160	530	细砂	9	1643	3.10
21	新乡新亚纸业厂房	420	4.5	180	752	细砂	14	2030	2.70
22	新乡市行政中心 办公楼1号楼	420	5.0	250	734	细砂	21	1762	2.42
23	新乡医学院 学术交流中心综合楼	420	5.3	230	728	细砂	15	2148	2.95
24	河南周口 江河大厦	400	7.0	300	870	细砂	7	2741	3.15
25	山东聊城 金泰大厦	400	8.5	180	852	细砂	12	2471	2.90

续表 3

编号	工程名称	桩径 (mm)	桩长 (m)	持力层承载力 (kPa)		持力 层土 性	三击 贯入 度 (cm)	单桩 承载力 (kN)	A _e (m ²)
				特征 值	修正 后特 征值				
26	山东潍坊 30 万吨 白卡纸工程	420	6.2	180	682	细砂	9	2114	3.10
27	辽宁盘锦市河畔 小区 D 组团住宅楼	410	5.2	220	679	细砂	11	1935	2.85
28	北京大兴黄村 危改工程	450	8.2	350	350	细砂	10	1050	3.00
29	北京晋元庄小区	600	8.5	350	1205	卵石	10	4278	3.55
30	北京南官苑住宅 小区 6 号楼	410	3.5	250	765	卵石	9	2869	3.75
31	北京绿化三大队宿舍楼	420	4	250	804	卵石	9	1785	2.22
32	北京晋元庄商场	600	2.5	350	1102	卵石	7	4353	3.95
33	装甲兵学院 办公楼	400	4.5	400	1073	卵石	15	3595	3.35
34	山东青岛海港花园	410	8.5	270	765	粗砂	13	2601	3.40
35	哈尔滨试验桩	400	4.8	190	747	粗砂	11	2241	3.00
36	辽宁鞍山公安局 税务稽查处办公楼	410	5.1	180	821	粗砂	15	2135	2.60
37	黑龙江牡丹江 军分区 2 号综合楼	400	6	230	942	粗砂	8	3438	3.65
38	黑龙江牡丹江 军分区 2 号综合楼	400	6	220	910	粗砂	11	3049	3.35
39	河南豫联能源 集团二期工程试桩	600	20	210	713	湿陷性 黄土	9	2282	3.20
40	陕西军区正和 医院综合楼	410	9.5	160	436	湿陷性 黄土	8	1482	3.40
41	长安房地产开发公司 长信花园	500	10.5	150	448	湿陷性 黄土	13	1299	2.90
42	陕西水电工程局 第二工程处综合楼	410	10	120	409	湿陷性 黄土	16	1023	2.50
43	汇佳科教楼及 教务楼	410	10	250	1315	中砂	11	4208	3.20
44	梅口市长白山 建材市场工程	450	4	300	870	中砂	15	2610	3.00

- 2) 由于施工大直径桩必须采用大直径的护筒和重锤,设计大直径桩时须考虑锤和护筒直径对三击贯入度的影响。
- 3) 收集的工程资料中,桩长大部分都在 10m 以内,桩径为 400~450mm,对于桩长大于 10m 或桩径大于 450mm 的载体桩,设计时要考虑桩长和桩径对承载力的影响,设计计算时 A_e 可根据静载荷试验反算取值或根据当地经验将表 4.3.2 中 A_e 乘一系数 λ 进行计算, λ 可取 1.1~1.3。
- 4) 软塑和可塑状态的黏性土中三击贯入度小于 10cm 的工程资料较少,故表中未给出 A_e 的取值。当在该类土中设计三击贯入度小于 10cm 的载体桩时 A_e 应根据设计经验或当地工程经验取值。

图 2 为以密实细砂作为被加固土层,三击贯入度小于 10cm 的载体桩承载力实测与计算的频数分布图;图 3 为以卵石作为被加固土层三击贯入度小于 10cm 的载体桩承载力实测与计算的频数分布图;图 4 为以粉土作为被加固土层三击贯入度小于 10cm 的载体桩承载力实测与计算的频数分布图。通过计算分析,承载力特征值实测/计算的平均值都大于 1。

4.3.3 为确保桩身混凝土强度,现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 对灌注桩成桩工艺系数取 0.6~0.7,预制桩取 0.75。由于载体桩桩长较短,混凝土质量易保证,成桩工艺系数可适当提高。对桩身采用现场浇筑混凝土的载体桩成桩工艺系数取 0.75,当桩身采用预制桩身时,取 0.80。

4.3.5 当载体桩持力层下存在软弱下卧层,且其压缩模量与持力层压缩模量之比小于 1/3 时,应进行软弱下卧层承载力验算。当载体桩的间距不超过 3.0m,应力传递到下卧层顶时,相互叠加,因此载体桩破坏时呈整体冲剪破坏,按实体基础进行软弱下卧层承载力的验算。等代实体基础的附加应力扩散平面从载体等效计算面开始计算,取混凝土桩身下 2m。根据经验等代实体等

效作用面比常规群桩的等效作用面大，边长为群桩外围桩形成的投影边长加 2 倍等效计算距离。

4.4 单桩水平承载力

4.4.1~4.4.3 单桩水平承载力与许多因素有关，单桩水平承载力特征值应通过单桩水平载荷试验确定。对柔性载体桩和半刚性载体桩承载力的估算可以参考桩基础的水平承载力计算公式进行计算；对于载体桩，由于载体的约束作用，其水平承载力比相同长度的普通桩基承载力高，以水平载荷试验确定其水平承载力。载体桩的水平承载力除了包括桩侧土的抗力外，还包括承台底阻力和承台侧面水平抗力，故带承台桩基的水平载荷试验能反映桩基在水平力作用下的实际工作状态。

带承台桩基水平载荷试验采用单向多循环加载方法或慢速维持荷载法，用以确定长期荷载作用下的桩基水平承载力和地基土水平反力系数。加载分级及每级荷载稳定标准可参照国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。当加载至桩身破坏或位移超过 30~40mm（软土取大值）时停止加载。

根据试验数据绘制的荷载位移 H_0-X_0 曲线及荷载位移梯度 $H_0-(\Delta X_0/\Delta H_0)$ 曲线，取 $H_0-(\Delta X_0/\Delta H_0)$ 曲线的第一拐点为水平临界荷载，取第二拐点或 H_0-t-X_0 曲线明显陡降的前一级荷载为水平极限荷载。若桩身设有应力测读装置，还可根据最大弯矩变化特征综合判定载体桩单桩水平临界荷载和极限荷载。

4.5 载体桩基沉降计算

4.5.6 由于载体桩桩间距一般为 1.8~2.4m，桩和桩间土受力呈整体变形，故按等代实体基础进行变形验算。计算方法采用单向压缩分层总和法，等效作用面取载体底面，即混凝土桩身下 2m，等效计算面积为载体桩（包括载体）形成的实体投影面积，等代实体边长为外围桩形成的投影边长加 2 倍载体的等效计算距离。

4.5.7 由于桩体刚度大，变形小，且载体等效计算位置到混凝土桩底之间是由混凝土和填料挤密形成，压缩模量很大，变形也较小，故沉降计算时不考虑桩身及载体的变形。载体以下土体其压缩模量也大于持力土层的压缩模量，沉降计算时采用持力土层的压缩模量进行设计计算，这样偏于安全。

当考虑相邻基础的影响时，按应力叠加原理采用角点法计算沉降。

沉降计算结果随计算模式、土性参数的不确定性而与实际沉降有所偏差。因此，不论采用何种理论计算均须引入沉降计算经验系数 ψ_p 对计算结果进行修正。

6 载体桩基工程质量检查与检测

6.2 成桩质量检查

6.2.2 载体桩施工时除了要进行常规原材料检测、试块检测、钢筋笼偏差和桩位偏差检查外，还包括有关载体施工的 4 项检查：填料量、夯填混凝土量、每击贯入度和三击贯入度。

6.3 单桩桩身完整性及承载力检测

6.3.1 由于载体桩承载力主要来源于载体，而载体的施工主要由三击贯入度进行控制，且桩身混凝土在护筒中浇筑，质量易保证，故低应变完整性检测的数量规定为总桩数的 10%~20%，条件允许时可适当增加。